Sammanfattning TMKM12

Föreläsning 1 – materialval, sammansättn, struktur och mekaniska egenskaper

Huvudklasser av konstruktionsmaterial

- **Metaller** tex stål, aluminium
  - Starka
  - Formbara
- **Keramer** tex glas, aluminiumoxid
  - Starka
  - Spröda. Pga sprödhet används sällan keramer ensamma
  - Korrosionsbeständiga (rostar ej)
- **Plaster/polymerer** tex pet, nylon
  - Låg densitet
  - Billiga, låg tillverkningskostnad
  - Kan användas som elektrisk isolering
- Kompositer, polymer eller metallmatris
  - Bra kombination av egenskaper

Materialval

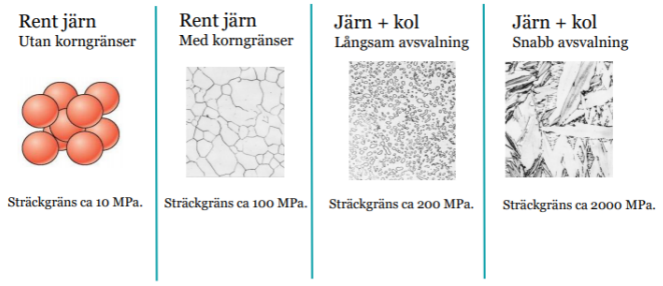
- Enbart starkt – keramiskt material
- Lätt och starkt – kompositmaterial
- Styrka och pris viktigt – stål
- Styrka, vikt och pris viktigt – aluminium
- Låga krav på styrka men pris viktigt – plast

Faktorer som påverkar materialval

- Styrka
- Duktilitet
- Vikt/densitet
- Pris
- Formbarhet
- Temperaturtålighet
- Miljö/korrosionstålighet
- Energiupptagningsförmåga
- Utmattningstålighet
- Tillgång

Det är kemisk sammansättning och struktur som bestämmer ett materials mekaniska egenskaper.

Tex stål:



Viktigt att veta att styrkan hos ett material kan påverkas, men med detta påverkas även andra egenskaper. Duktiliteten minskar och materialen blir svårare att forma och foga i ett starkare material.

Viktigt vid materialval

- Veta vilka egenskaper man behöver
- Förstå sambandet mellan:
  - Kemisk sammansättning
  - Struktur
  - Tillverkningsprocess
  - Egenskaper

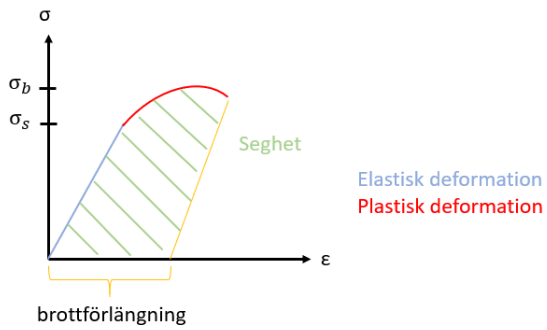
Struktur

Beskrivning av materialets uppbyggnad, kan definieras på olika nivåer.

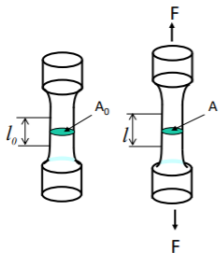
- Atomstruktur – beskrivning av atomens uppbyggnad och dess bindningar till andra atomer.
- Kristallstruktur – beskrivning av regelbundet ordnade atomer
- Mikrostruktur – beskrivning av materialet på mikrometernivå (0.1-100µm). Tex kornstorlek, utskiljningar.
- Makrostruktur – beskrivning av materialets uppbyggnad >100µm. Tex ytbeläggningar, sprickor.

Mekaniska egenskaper

- Sträckgräns, σ_s: om denna spänning överskrids erhålls plastisk deformation
- Brottgräns, σ_b: maximal spänning ett material klarar av
- Styvhet, elasticitetsmodul: materialets motstånd mot elastisk def $E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$
- Duktilitet: materialets förmåga till plastisk def. Före brott. % brottförlängning=$\frac{l_f - l_0}{l_0}$
- Seghet: ett mått på den energi ett material kan ta upp före brott



Sann vs ingenjörspänning och töjning



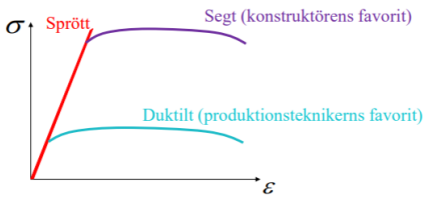
Spänning [N/mm², MPa]

- Ingenjörspänning/nominell: $\sigma = \frac{F}{A_0}$
- Sann spänning: $\sigma = \frac{F}{A}$

Töjning [%]

- Ingenjörstöjning/nominell: $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$
- Sann töjning: $\varepsilon = \int \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$

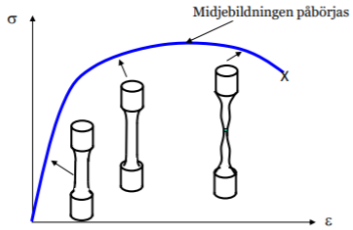
Sprött, segt och duktilt material



- Sprött material absorberar liten energi i brottsprocessen medans ett segt material absorberar stor mängd energi.
- Ett materials sprödhet påverkas av faktorer så som lasthastighet, temperatur, miljö, strukturändring mm.
- Hög töjningshastighet eller låg temperatur medför ett mer sprött beteende.

Midjebildning

En lokal och koncentrerad plastisk deformation som uppstår då brottgränsen nås.



Föreläsning 2 – atombindningar, kristallstruktur och härdn.mekanismer

Typer av atombindningar

- Jonbindning – den ena atomen lämnar sina valenselektroner till en annan
- Kovalent bindning – valenselektronerna delas
- Metallbindning – uppkommer mellan metaller som har låg elektronegativitet (tänk elektronmoln kring atomerna)
- Vand der Waals-bindning – svag bindning mellan atomer med elektriska dipoler (finns i plast)

Lägre utvidgningskoefficient, högre E-modul, starkare bindning och högre smältpunkt uppåt på pilen. Alla dessa egenskaper är mikrostrukturokänsliga.

Vilken typ av atombindning man har i ett material beror på:

- Valens (antal elektroner som medverkar för att binda)
- Elektronegativitet (om atomen vill ta emot eller släppa elektroner)

Starkare bindning => högre E-modul => högre smältpunkt => lägre utvidgningskoefficient

Utvidgningskoefficient – ytbeläggning på tex metall kan spricka vid uppvärmning när materialen har olika K.

Valens

Valens – antalet elektroner hos en atom som medverkar för att binda atomen i en förening

Elektronegativitet

Elektronegativitet – benägenheten hos en atom att ta upp elektroner vid bildandet av en förening. Elektronegativiteten ökar med ökade antal elektroner i det yttersta skalet. Elektronegativiteten minskar med ökad atomradie.

- **Elektropositiva ämnen** ger gärna bort elektroner för att bli joner med positiv laddning
- **Elektronegativa ämnen** tar gärna emot elektroner för att bli joner med negativ laddning

Jonbindning

- Bildas mellan två atomer då den ena (metall, tex Na) lämnar sina valenselektroner till den andra (ickemetall, tex Cl)
- Jonbindningen är en stark bindning tack vare den starka attraktionskraften mellan jonerna
- Material med jonbindningar är ofta hårda men spröda, tex keramer.

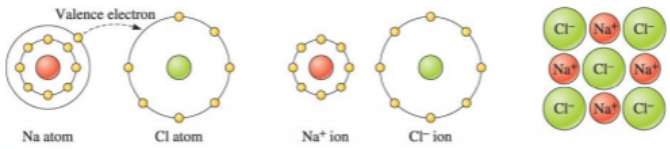


Figure 2-14 An ionic bond is created between two unlike atoms with different electronegativities. When sodium donates its valence electron to chlorine, each becomes an ion, attraction occurs, and the ionic bond is formed.

Kovalent bindning

- Bildas då valenselektroner delas mellan två eller flera atomer
- Kovalenta bindningar är starka och riktade
- Material med kovalenta bindningar är typiskt hårda, spröda och smälter vid mycket höga temperaturer.
- Tex kisel och diamant

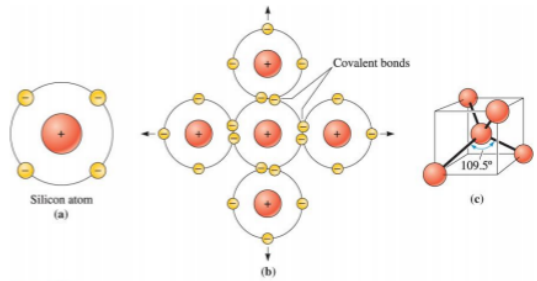


Figure 2-12 (a) Covalent bonding requires that electrons be shared between atoms in such a way that each atom has its outer *sp* orbitals filled. (b) In silicon, with a valence of four, four covalent bonds must be formed. (c) Covalent bonds are directional. In silicon, a tetrahedral structure is formed with angles of 109.5° found between any pair of covalent bonds.

Van der Waals-bindning

- Svaga bindningar som uppstår mellan atomer/molekyler med elektriska dipoler
- Verkar ofta som sekundära bindningar mellan molekylkedjor i termoplaster och har en stor betydelse för termoplasternas mekaniska och termiska egenskaper

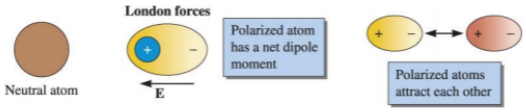


Figure 2-15 Illustration of London forces, a type of a van der Waals force, between atoms.

Metallbindning

- Uppkommer mellan metallatomer som har låg elektronegativitet
- Elektrostatiska attraktionskrafter mellan de positivt laddade metalljonerna och det negativt laddade elektronmolnet
- Relativt starka bindningar med rörliga valenselektroner
- De rörliga valenselektronerna möjliggör ledning av elektricitet och värme
- Metaller har ofta hög smälttemperatur samt är starka och duktila

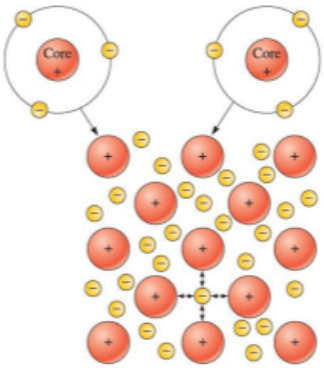


Figure 2-11 The metallic bond forms when atoms give up their valence electrons, which then form an electron sea. The positively charged atom cores are bonded by mutual attraction to the negatively charged electrons.

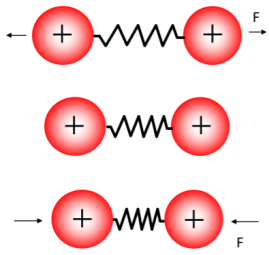
Bindningsenergi

Avståndet mellan två atomer bestäms av jämvikten mellan:

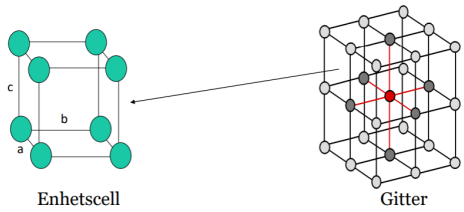
- Attraherade krafter som uppstår mellan metalljoner och elektronmoln som har olika laddning
- Repulsiva krafter som uppstår mellan metalljoner som har samma typ av laddning

Elastisk deformation

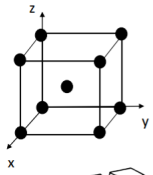
- Atombindningar kan förenklat ses som en fjäder med konstant E
- Bindningslängden (avståndet mellan atomerna) påverkas av pålagd kraft, vilken resulterar i en elastisk töjning
- Elastisk återhämtning förklaras av de växelverkande atomkrafterna.
- Starkare bindningar innebär svårare elastisk deformation -> högre E-modul



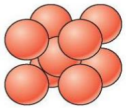
Kristallstruktur

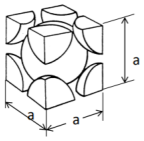


Kubiskt rymdcentrerad struktur (BCC)



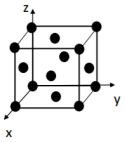
Exempel:
- α-Fe (<911 °C)
- Cr
- Ti (>882 °C)



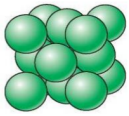


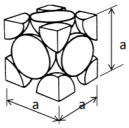
- Packningstäthet (volym): 68%
  Andelen av enhetcellens volym som är ockuperad av atomerna.
- Antal atomer i enhetscellen? 2 st

Kubiskt ytcentrerad struktur (FCC)



Exempel:
- Al
- Ni
- Cu
- Ag
- Au
- γ-Fe (911 – 1390 °C)





- Packningstäthet (volym): 74%
- Antal atomer i enhetscellen? 4 st

Tätpackad hexagonal struktur (HCP)

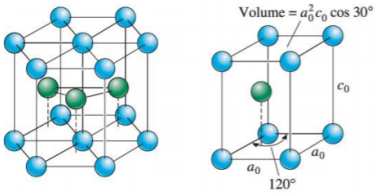


Figure 3-11 The hexagonal close-packed (HCP) structure (left) and its unit cell.

Exempel:
- Co
- Mg
- Zn
- Ti (< 882 °C)

- Packningstäthet (volym): 74%
- Antal atomer i enhetscellen? 2 st

Allotropi

Ett material kan ha olika kristallstrukturer vid olika temperaturer, tex:

- Rent järn:
  - **BCC under 911°C**
  - **FCC mellan 911°C och 1392°C**
  - **BCC från 1392°C till smälttemperaturen**
- Rent titan
  - HCP under 882°C
  - BCC från 882°C till smälttemperaturen

Kolets allotroper

Diamant

- Varje kolatom binder (med kovalenta bindningar) till fyra andra kolatomer
- De kovalenta bindningarna gör materialet starkt
- Hög smälttemperatur, ca 3550°C

Grafit

- Varje kolatom binder (med kovalenta bindningar) till tre andra kolatomer
- Den fjärde bindningen är en van der Waals-bindning som binder ihop de olika lagren
- Blyertspenna

Grafen

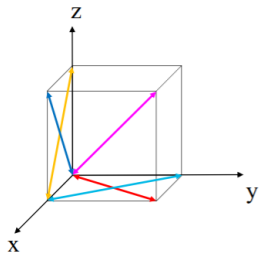
- Ett lager av kolatomer
- Kolnanorör kan skapas

Anisotropi

Olika egenskaper I kristallens riktningar. Tex BCC-järn som har E=273GPa i en riktning och E=125GPa i en annan.

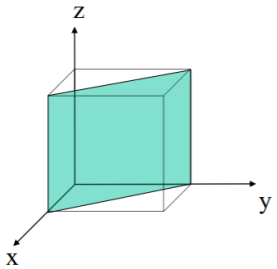
Millerindex – riktningar i kristallen

- [uvw]: en bestämd riktning
- <uvw>: en grupp av ekvivalenta riktningar av typ [uvw]
- Tex innehåller gruppen <110> 12 olika ”110”-riktningar.



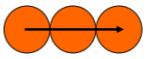
Millerindex – plan i kristallen

- (hkl): ett bestämt plan.
- {hkl}: en grupp av ekvivalenta plan av typ (hkl)
- Tex innehåller gruppen {110} 6 olika ”110”-plan

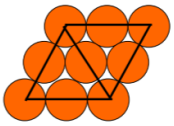


Tätpackade riktningar och plan

- Tätpackade riktningar (har tätast möjliga packning av atomer):
  - BCC: <111>
  - FCC: <110>



- Tätpackade plan (har tätast möjliga packning av atomer)
  - BCC: inga
  - FCC: {111}

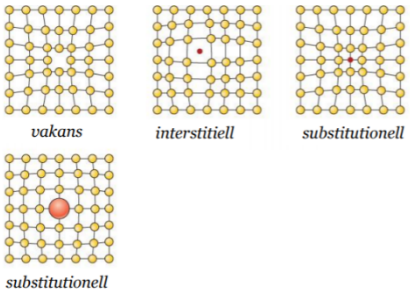


Varför millerindex?

- Anisotropin
- Deformation sker lättare i vissa plan/riktningar än andra

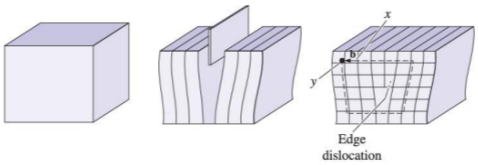
Punktfel

- Gitterstörning kring felet
- Interstitiell fast lösning: en fast metallfas som innehåller främmande interstitiella atomer. Tex ferrit med interstitiellt kol i stål.
- Substitionell fast lösning: en fast metallfas som innehåller substitionella atomer. Tex austenitiskt rostfritt stål.
- Vakanser: uppstår när det saknas en atom på en position i gittret. Antal vakanser ökar med ökande temperatur i materialet.



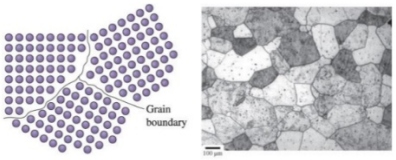
Linjefel – dislokationer

- Området kring kanten hos det extra atomplanet utgör en kantdislokation
- I praktiken betraktas kanten av det extra atomplanet som dislokationen.
- Gitterdeformation i området längs dislokationen
- Dislokationer bildas vid kristallisation eller vid senare behandling av materialet, tex plastisk deformation.



Ytfel – korngränser

- Gränsen mellan två korn med olika orienteringar visa oregelbunden ordning av atomer.

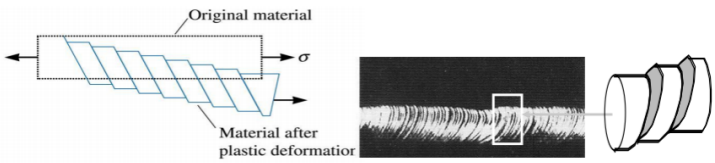


Volymfel – utskiljningar

- Små partiklar med en annan sammansättning/struktur än grundmassan kan betraktas som tredimensionella fel i grundmassan.

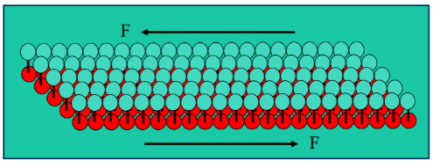
Mekanismer för plastisk deformation

- Plastisk deformation sker genom att delar av kristaller glider mot varandra i bestämda glidriktningar på bestämda glidplan.
- Ett glidsystem = ett glidplan + en glidriktning i glidplanet.

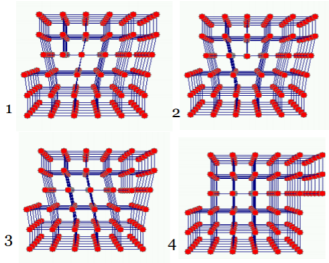


Den teoretiska hållfastheten

- Om hela paket av atomplan glider vid samma tidpunkt, måste samtliga atombindningar brytas samtidigt => den totala skjuvkraften för glidningen F=bindningskraften * antal atomer (atombindningar).
- Beräkningen ger en teoretisk skjuvspänning som är 1000-10 000 gånger högre än uppmätta värden.

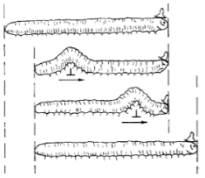


Glidning med hjälp av dislokationsrörelse

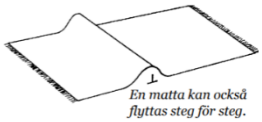


Andra dislokationsliknande mekanismer

Atomplansglidning under medverkan av dislokationer är att atomerna i glidplanet rör sig förbi varandra i tur och ordning, istället för alla atomer på en gång.



En larv tag sig fram genom att en del av kroppen rör sig i taget.



En matta kan också flyttas steg för steg.

Schmidts lag

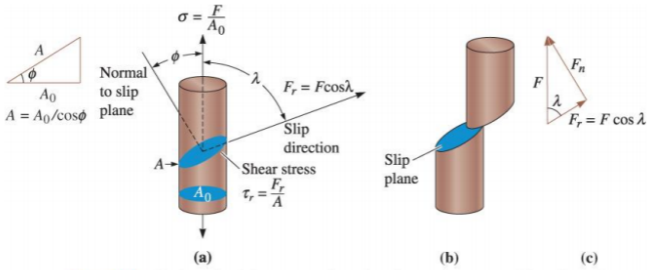


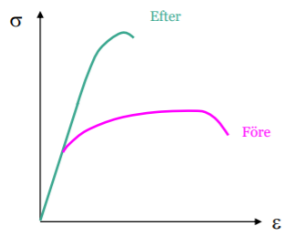
Figure 4-10 (a) A resolved shear stress τ is produced on a slip system. [Note: $(\phi + \lambda)$ does not have to equal 90°.] (b) Movement of dislocations on the slip system deforms the material. (c) Resolving the force.

Sammanfattning kristallfel och dislokationer

- Alla kristallfel påverkar de mekaniska egenskaperna hos metaller
- Plastisk deformation sker mha dislokationsrörelse
- Dislokationer rör sig längs speciella glidplan i speciella glidriktningar s.k. glidsystem
- Plastisk deformation sker när skjuvspänningen i glidsystemet överskrider ett visst värde (τ_{crss})
- Denna skjuvspänning beror på atombindning, kristallstruktur och ev hinder som tex kristallfel
- Enkristallint material består av ett enda korn

Härdning av metalliska material

Bygger på att genom att kontrollera strukturen, förhindra eller försvåra dislokationernas rörelse.



- Syfte: att öka hållfastheten och hårdheten hos metaller
- Uppnås på bekostnad av metaller

Härdningsmekanismer

- Deformationshärdning
  - Kalldeformation (kallbearbetning)
  - Linjefel

- Lösningshärdning
  - Skapa en fast lösning
  - Punktfel

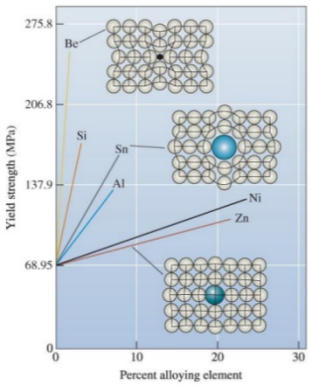
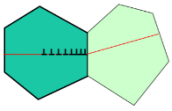
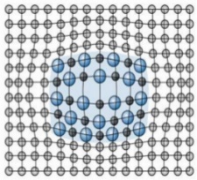


Figure 10-6 The effects of several alloying elements on the yield strength of copper. Nickel and zinc atoms are about the same size as copper atoms, but beryllium and tin atoms are much different in size from copper atoms. Increasing both the atomic size difference and the amount of alloying element increases solid-solution strengthening.

- Korngränshärdning
  - Förfinad kornstruktur(minskad kornstorlek)
  - Ytfel
  - Dislokationer har svårt att passera korngränser



- Partikelhärdning
  - Utskiljning av fina och hårda partiklar
  - Volymfel

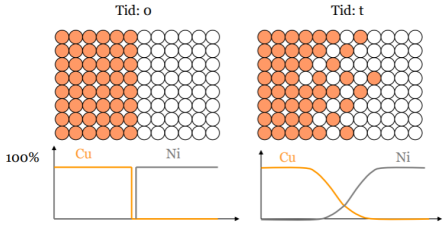


Elastisk vs plastisk deformation hos metaller

- Elastisk – återgående deformation, töjning av atombindningar
- Plastisk – bestående deformation, dislokationer skapas och rör på sig i strukturen

Föreläsning 3 – diffusion och stelning av metaller

Interdiffusion



Diffusion

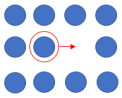
En orienterad förflyttning av atomer i ett material. Ett kraftfullt verktyg inom materialtekniken. Tex. diffunderat stål med hög kolhalt hårdare. Diffusion drivs av utjämning av koncentrationsgradient.

Tillämpningar av diffusion

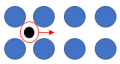
- Rostfritt stål
- PET-flaska

Mekanismer för diffusion

- Vakansdiffusion



- Interstitiell diffusion



Interstitiell snabbare än substitionell (vakans)

Vid diffusion måste en energibarriär övervinnas: aktiveringsenergi, Q

Mekanismer för diffusion

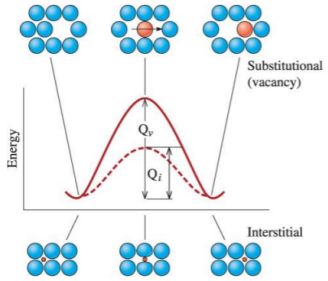
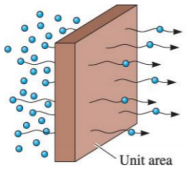
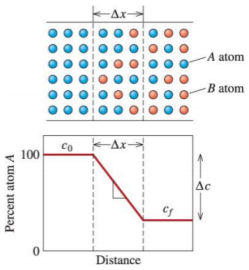


Figure 5-7 The activation energy Q is required to squeeze atoms past one another during diffusion. Generally, more energy is required for a substitutional atom than for an interstitial atom.

Diffusionshastighet



Ficks 1:a lag



Diffusionshastighet och ficks 1:a lag

Diffusionshastighet – flödet av atomer beror på:

- Drivkraften, dvs koncentrationsgradienten
- Motståndet, dvs hur lätt atomerna kan röra på sig

Ficks 1:a lag: $\boldsymbol{J = D * \frac{dc}{dx}}$

- J: atomflöde [atomer/cm^2*s]
- D: diffusivitet [cm^2/s]
- dc/dx: koncentrationsgradient [atomer/cm^3*cm]

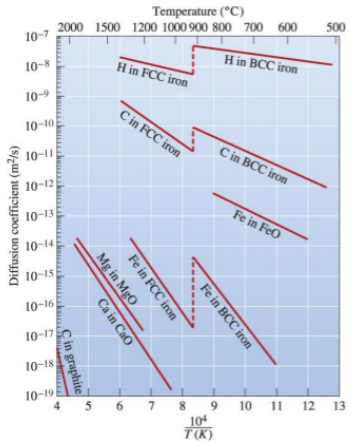
Diffusivitet, D^2 är ett mått på materialet ”genomsläppningsförmåga” av ett visst atomslag. Beror på följande faktorer:

- tid
- temperatur
- diffusionsmekanism
- kristallstruktur (FCC, BCC mm)
- Atombindningstyp

$$\boldsymbol{D = D_0 * e^{-\frac{Q}{RT}}}$$

- D0= diffusionskonstant
- Q= aktiveringsenergi
- R= allmänna gaskonstanten
- T= temperatur [K]

Tolkning av D0 och Q



Värt att notera:

- Brant lutning -> hög aktiveringsenergi.
- När temperaturen ökar förkortas diffusionstiden.
- Kol diffunderar snabbare i BCC- järn än i FCC-järn.
- Kol diffunderar snabbare än järn i järn.

Sätthärdning av stål

Funktionskrav:

- Hård och slitstark yta
- Seg kärna
- Utmattningstålig

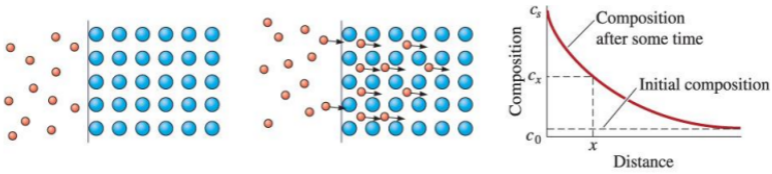
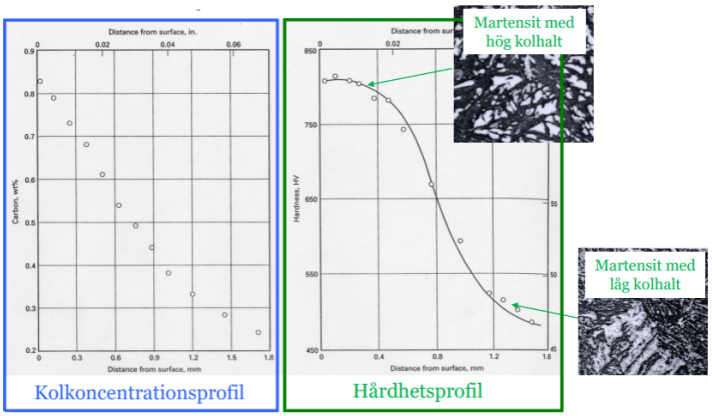


Figure 5-18 Diffusion of atoms into the surface of a material illustrating the use of Fick's second law.



Koncentrationsprofil och fick 2:a lag

Ficks 2:a lag: $\frac{\partial c}{\partial t} = D\left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}\right)$

För fallet uppkolning:

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

Snabbare om högre temp och kortare uppkolningstid

- Cs= kolhalt på ytan
- Cx= kolhalt på djupet x mm
- C0= ursprungskolhalt i stålet
- X= avståndet från ytan i mm
- t= uppkolningstid [s]

- D= diffusivitet

Ficks 2:a lag

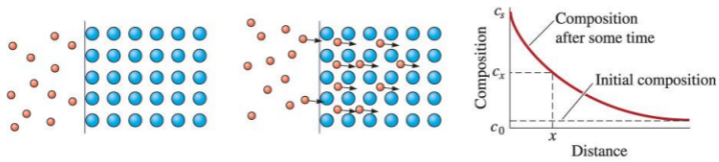
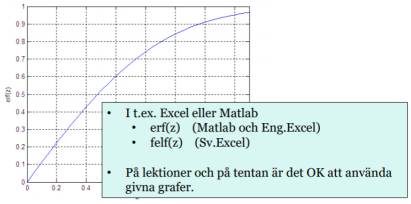


Figure 5-18 Diffusion of atoms into the surface of a material illustrating the use of Fick's second law.

Felfunktionen erf(z)



Stelning av metaller

Stelning av en smälta sker i två steg, kärnbildning och tillväxt.

Drivkraften för att bilda en kärna är att fria energin per volymenhet (ΔG_v) är lägre i fast tillstånd jämfört med flytande.

- För att kärnan ska tillväxa spontant måste radien på kärnan vara större än den kritiska kärnradien r*.
- Om kärnradien är mindre än r* är drivkraften att lösa upp kärnan
- För att komma förbi r* så gör man stor underkylning

Kritisk kärnradie, r*

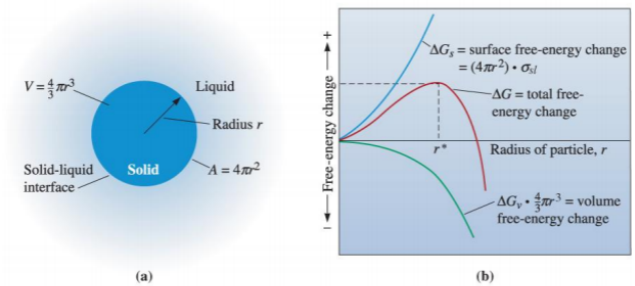


Figure 9-1 (a) An interface is created when a solid forms from the liquid. (b) The total free energy of the solid-liquid system changes with the size of the solid. The solid is an embryo if its radius is less than the critical radius and is a nucleus if its radius is greater than the critical radius.

Homogen vs heterogen kärnbildning

Homogen kärnbildning - sker direkt ur smältan och kräver stor underkylning.

Heterogen kärnbildning - sker på befintliga ytor och kräver mindre underkylning.

Underkylning för homogen kärnbildning

TABLE 9-1 *Values for freezing temperature, latent heat of fusion, surface energy, and maximum undercooling for selected materials*

Material	Freezing Temperature (T_m) (°C)	Heat of Fusion (ΔH_f) (J/cm³)	Solid-Liquid Interfacial Energy (σ_{sl}) (J/cm²)	Typical Undercooling for Homogeneous Nucleation (ΔT) (°C)
Ga	30	488	56×10^{-7}	76
Bi	271	543	54×10^{-7}	90
Pb	327	237	33×10^{-7}	80
Ag	962	965	126×10^{-7}	250
Cu	1085	1628	177×10^{-7}	236
Ni	1453	2756	255×10^{-7}	480
Fe	1538	1737	204×10^{-7}	420
NaCl	801			169
CsCl	645			152
H_2O	0			40

Heterogen kärnbildning

- Kärnor bildas på befintliga ytor
- Minskar ytenergin
- Minskar behovet av underkylning

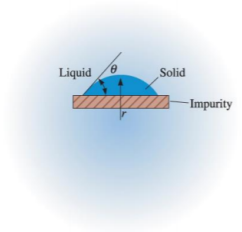


Figure 9-2 A solid forming on an impurity can assume the critical radius with a smaller increase in the surface energy. Thus, heterogeneous nucleation can occur with relatively low undercoolings.

Facetterad (plan) tillväxt av stelningsfronten

- Ingen underkylning i smältan
- Värmen leds bort genom den fasta fasen

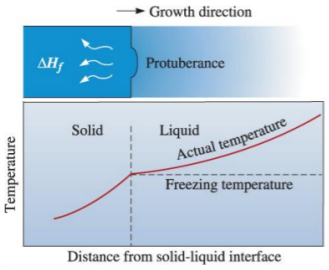


Figure 9-3 When the temperature of the liquid is above the freezing temperature, a protuberance on the solid-liquid interface will not grow, leading to maintenance of a planar interface. Latent heat is removed from the interface through the solid.

Dendritisk tillväxt av stelningsfronten

- Stor underkylning i smältan

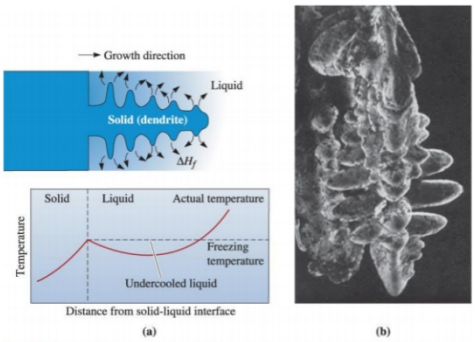


Figure 9-4 (a) If the liquid is undercooled, a protuberance on the solid-liquid interface can grow rapidly as a dendrite. The latent heat of fusion is removed by raising the temperature of the liquid back to the freezing temperature. (b) Scanning electron micrograph of dendrites in steel (× 15). (*Reprinted Courtesy of Don Askeland*)

Stelningsstrukturer

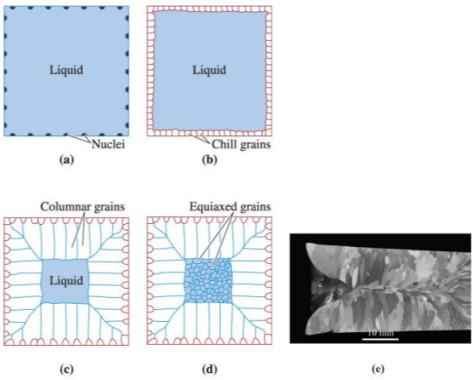


Figure 9-9 Development of the ingot structure of a casting during solidification: (a) nucleation begins, (b) the chill zone forms, (c) preferred growth produces the columnar zone, (d) additional nucleation creates the equiaxed zone, and (e) the ingot structure of a commercially pure aluminum casting. (*Courtesy of Bill Clyne*)

Kontrollerade stelningsförlopp

Ympning – minskar kornstorleken

Kontrollerade stelningsförlopp

Riktat stelnande – minskar/eliminerar korngränser

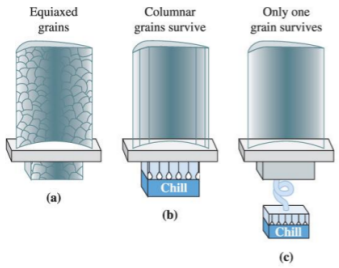
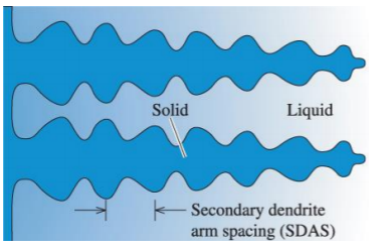


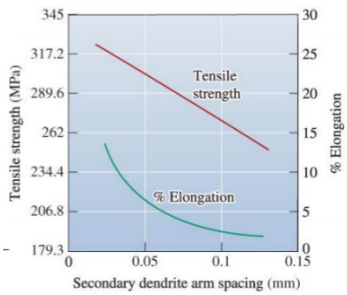
Figure 9-20 Controlling grain structure in turbine blades: (a) conventional equiaxed grains, (b) directionally solidified columnar grains, and (c) a single crystal.

Materialteknisk utblick

Diffusion och stelning av metaller

Gjutstrukturen påverkar egenskaperna





Gjutdefekter – tex krympning

- Järn 3%
- Aluminium 7%
- Stål med låg kolhalt 3%
- Stål med hög kolhalt 4%
- Koppar 5%
- Magnesium 4%
- Gråjärn +4% (expanderar alltså)

Föreläsning 4 – mekaniska egenskaper och plastisk def.

Slagseghet och slagprov

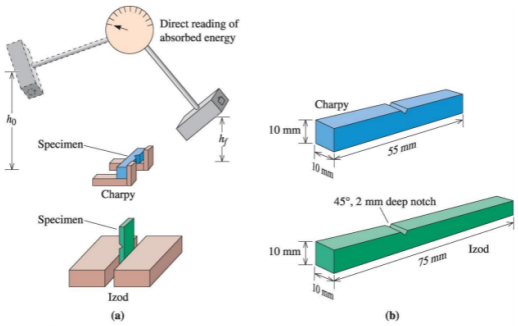


Figure 6-23 The impact test: (a) the Charpy and Izod tests, and (b) dimensions of typical specimens.

Duktilitet och seghet

Duktilitet

Materialets förmåga att deformeras plastiskt.

Mått:

- % brottförlängning $= \frac{l_f - l_0}{l_0}$
- % areareduktion $= \frac{A_0 - A_f}{A_0}$
- l_0 och A_0 mäts innan brott
- l_f och A_f $mäts\ efter\ brott$

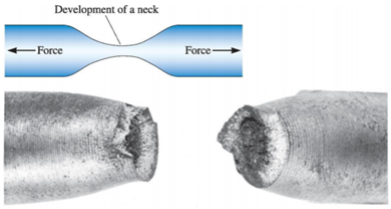


Figure 6-9 Localized deformation of a ductile material during a tensile test produces a necked region. The micrograph shows a necked region in a fractured sample. (*This article was published in Materials Principles and Practice, Charles Newey and Graham Weaver (Eds.), Figure 6.9, p. 300, Coyright Open University.*)

Seghet

Ett mått på den energi ett material kan ta upp före brott.

Statiskt: arean under dragprovskurvan

Dynamiskt: slagprov

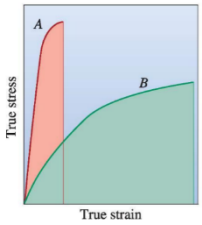


Figure 6-26 The area contained under the true stress-true strain curve is related to the tensile toughness. Although material *B* has a lower yield strength, it absorbs more energy than material *A*. The energies from these curves may not be the same as those obtained from impact test data.

Omslagstemperatur

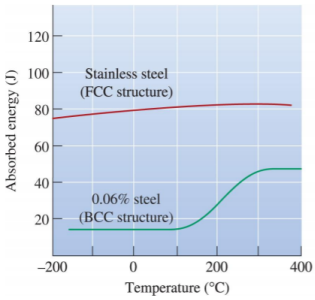


Figure 6-25 The Charpy V-notch properties for a BCC carbon steel and an FCC stainless steel. The FCC crystal structure typically leads to higher absorbed energies and no transition temperature.

Glidsystem hos kubiska metaller

- Kritiska skjuvspänningen – den spänning som erfordras för att flytta en dislokation i ett glidsystem
- BCC har inga tätpackade glidplan
  - Högre och temperaturberoende
  - Vid låga temperaturer kan färre glidsystem aktiveras
  - Omslagstemperatur

Kristall-struktur	*Glidplan*	*Glidriktning*	*Antal glidsystem*	τ_{crss} MPa
BCC	{110} {112} {123}	<111>	48	70
FCC	{111}	<110>	12	0.7

Dislokationer och glidsystem 1

- En dislokation kan glida i olika riktningar på ett glidplan
- Den aktuella kombinationen av ett plan och en riktning kallas glidsystem
- Hos kubiska strukturer kan antalet glidsystem variera pga skillnader i packningstäthet
- Detta gäller även glidmotståndet på glidplanet, därför krävs en högre skjuvspänning för att aktivera dislokationsglidning i en BCC-metall jämfört med en FCC-metall

- BCC-metaller har inga tätpackade plan
- Istället rör sig dislokationer i ”nästan” tätpackade plan hos BCC-metaller
- Eftersom friktionsmotståndet mot dislokationsrörelse i dessa plan är högre än vid tätpackade plan, krävs en högre skjuvspänning hos BCC-metaller jämfört med FCC-metaller

Omslagstemperatur

- Hos vissa material är slagsegheten starkt temperaturberoende (tex BCC-metaller och plaster)
- Vid låga temperaturer är materialet sprött och vid höga temperaturer segt
- Sprödheten hos BCC-metaller vid låga temperaturer beror på att antalet aktiva glidsystem är begränsat

Duktilt (segt) brott

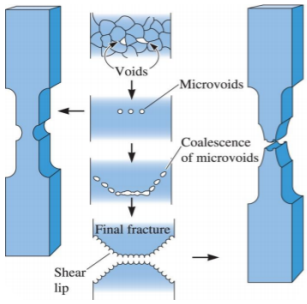
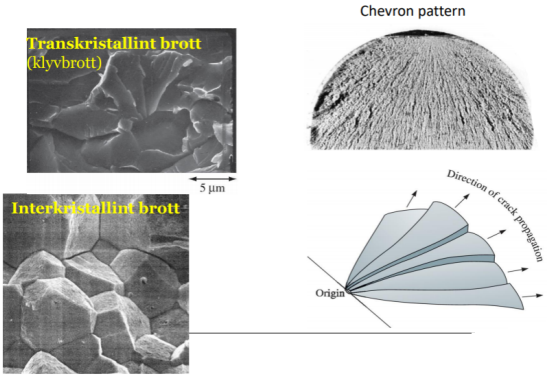


Figure 7-5
When a ductile material is pulled in a tensile test, necking begins and voids form—starting near the center of the bar—by nucleation at grain boundaries or inclusions. As deformation continues a 45° shear lip may form, producing a final cup and cone fracture.

Sprött brott



Typer av brott

- Segt brott (duktilt)
  - Transgranulärt (genom kornen)
  - Brottytan är dimples på mikronivå
  - Kopp kon på makronivå
- Sprött brott – transgranulära eller intergranulära (längs korngränsen)

Brottmekanik

- När materialet innehåller små sprickor och defekter. OBS! Ej på atomnivå såsom vakanser och dislokationer
- Nästan alla material innehåller små sprickor och defekter

- Om brott sker eller ej beror inte enbart på lasten
- Geometrin spelar också roll
- Deformationen kan ”smetas ut” eller ”lokaliseras”
- Ju längre sprickan blir desto svårare att ”smeta ut” deformationen

Belastningen på sprickspetsen kan tecknas:

$$K = f * \sigma\sqrt{\pi * a}$$

- K: spänningsintensitetsfaktor [MPa$\sqrt{m}$]
- f: geometrisk faktor [-]
- σ: pålagd spänning utan hänsyn till sprickslängd [MPa]
- a: sprickslängd [m]

- brott sker när K överskrider värdet K_c=brottseghet
- värdet på K_c beror på tjockleken hos materialet
- vid plan töjning(=för tillräckligt stor tjocklek) blir $K_c = K_{Ic}$

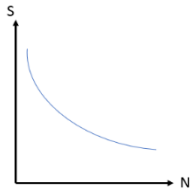
Ett materials motstånd mot sprickstillväxt beror bla på:

1. defekter i materialet
2. förmågan att deformeras plastiskt
3. tjockleken (tunna material tål mer!)
4. töjningshastighet
5. temperatur
6. kornstorlek (små korn är ofta bra)

Utmattning

Vid upprepad belastning kan haveri ske trots att maxlasten ej överskrider sträck- och brottgränsen.

Wöhler-kurva (S-N kurvor) där S: spänningsamplitud och N: antal belastningar till brott.



Om kurvan planar ut (ca 10^7 cykler) så har man en utmattningsgräns

Stål (BCC) har en utmattningsgräns medan Al (FCC) inte har det.

Utmattningsbrott

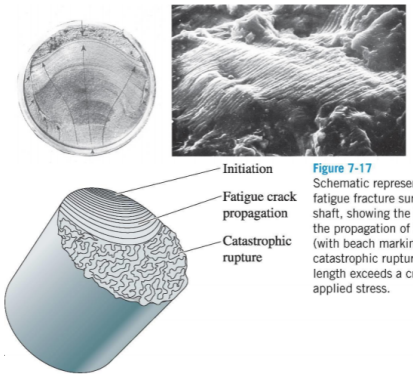
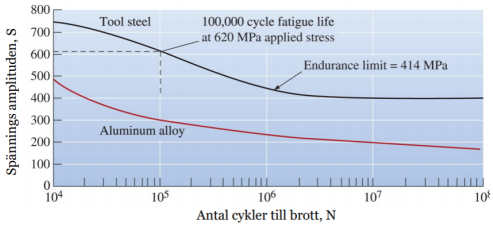


Figure 7-17
Schematic representation of a fatigue fracture surface in a steel shaft, showing the initiation region, the propagation of the fatigue crack (with beach markings), and catastrophic rupture when the crack length exceeds a critical value at the applied stress.

Utmattningsgräns



Spricktillväxthastighet

- Att sprickor finns och växer behöver inte vara kritiskt för alla typer av komponenter
- Ibland måste man förlita sig på stabil och förutsägbar spricktillväxt, tex i turbinkomponenter
- Men detta kräver stor kunskap om materialet
  - Mekanisk provning
  - Mikrostrukturundersökning

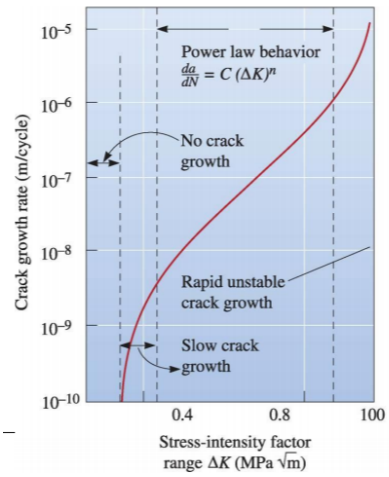
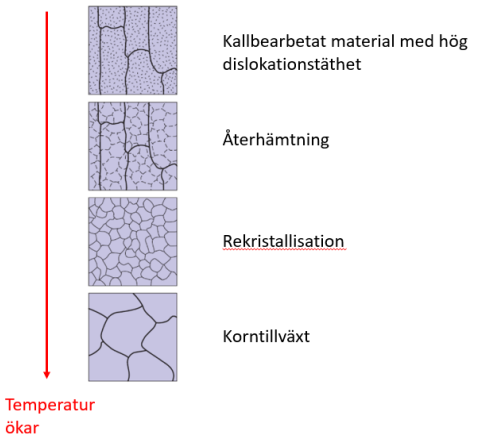


Figure 7-21
Crack growth rate versus stress intensity factor range for a high-strength steel. For this steel, $C = 1.62 \times 10^{-12}$ and $n = 3.2$ for the units shown.

Glödgning av kallbearbetat material



Det finns tre möjliga steg under värmebehandlingen glödgning, dessa är:
1. *Återhämtning*, den ursprungliga kallbearbetade mikrostrukturen besår av deformerade korn som innehåller en stor mängd hoptrasslade dislokationer. Så när materialet värms så tillåter uppvärmningen dislokationerna att förflyttas och forma nya gränser. I detta steg förblir de mekaniska egenskaperna relativt oförändrade då antalet dislokationer förblir samma. Återhämtningen reducerar spänningen i materialet och vid detta steg så får även materialet hög elektrisk konduktivitet.

2. *Rekristallisation*, nya små korn formas från de nya gränserna. Här reduceras antalet dislokationer mycket och det rekristalliserade materialet har låg styrka och hög duktilitet. Den temperatur där mikrostrukturen av nya korn som har väldigt låg dislokationsdensitet uppkommer kallas rekristallisationstemperatur.

3. *Korntillväxt*, både återhämtningen och rekristallisationen uppstår snabbt och ger en fin kornstruktur. Om temperaturen är hög nog så börjar kornen att växa och de större kornen konsumerar de mindre kornen. Denna process drivs av minskningen av korngränsarean. Denna del av glödgningen är nästan alltid oönskvärd.

Efter glödgningen så fås ett material med mindre sträckgräns, mindre brottgräns men större brottöjning än innan.

Föreläsning 5 – fasdiagram

Faser och fasdiagram

Fas

Ett material eller del av material med

- Enhetlig kemisk sammansättning
- Enhetlig struktur
- Enhetliga egenskaper
- Väldefinierad gränsyta mot sin omgivning

Strukturbeståndsdel

- Urskiljbar del av materialet
- Kan bestå av en eller flera faser
- Tex perlit i stål (som består av ferrit och cementit)

Fasdiagram

- Visar övergångar mellan olika faser för ämnen/legeringar

Löslighetsvillkor för metaller

Löslighet: mängden av ett material som kan lösas i ett annat material utan att strukturen ändras (jämför med salt i vatten)

Lösligheten beror på:

- Skillnaden i atomstorlek (lika löser lika)
- Kristallstruktur (lika löser lika)
- Valens och elektronegativitet

Slutsats: ju mer lika atomslag desto större löslighet.

Varför blanda två grundämnen?

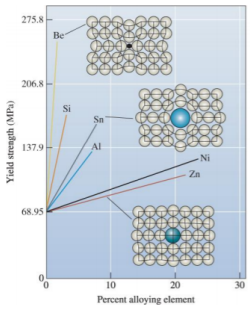


Figure 10-6 The effects of several alloying elements on the yield strength of copper. Nickel and zinc atoms are about the same size as copper atoms, but beryllium and tin atoms are much different in size from copper atoms. Increasing both the atomic size difference and the amount of alloying element increases solid-solution strengthening.

Lösningshärdning!
(solid solution strengthening)

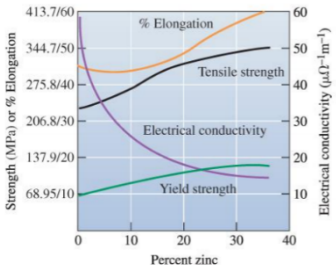


Figure 10-7 The effect of additions of zinc to copper on the properties of the solid-solution-strengthened alloy. The increase in % elongation with increasing zinc content is *not* typical of solid-solution strengthening.

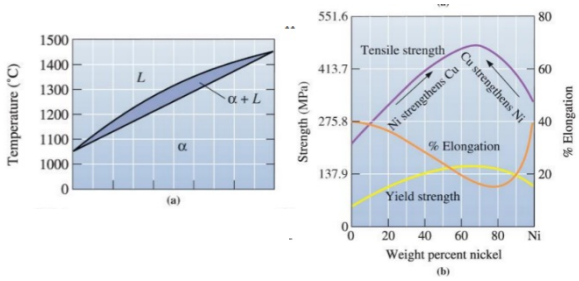
Fasdiagram

Visar ett materials olika faser och dess kemiska sammansättningar, för varje temperatur och totala legeringssammansättning.

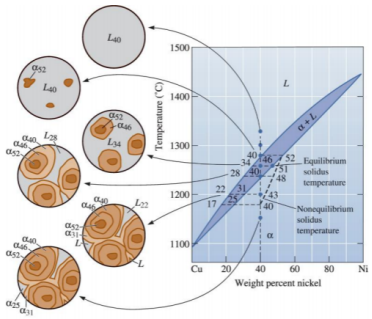
Fasdiagrammet Cu-Ni

likviduslinjen – den övre linjen, här börjar stelnandet när temperaturen sjunker.

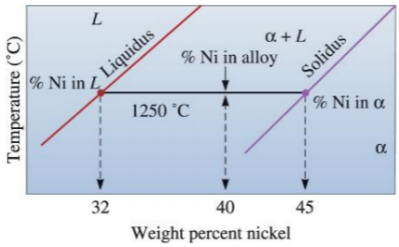
Soliduslinjen – här har all smälta återgått till fast fas.



Icke-jämviktsstelning -> segringar



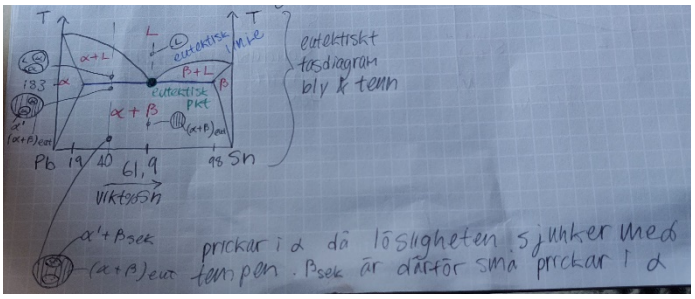
Hävstångsregeln



$$\text{Fasandel} = \frac{\text{Motstående hävarm}}{\text{Hela bredden på 2-fasområdet}} \times 100\ \%$$

Eutektiskt fasdiagram

Uppstår när löslighetsgränsen överskrids. En **eutektisk reaktion** är när två fasta faser bildas samtidigt ur en flytande fas L -> $S_1 + S_2$. **Eutektikum** är en strukturbeståndsdel som består av två fasta faser, ofta lamellstruktur med varannan $S_1 och\ S_2$. Lamellärt stelnande uppstår pga kortast diffusionsväg.



Pb-40%Sn:

- 182°c: Faser – α och β, Strbdelar: α' och $(\alpha + \beta)_{eut}$
- 25°c: Faser – α och β strbdelar: (α' + β_{sek}) och $(\alpha + \beta)_{eut}$

Eutektikum

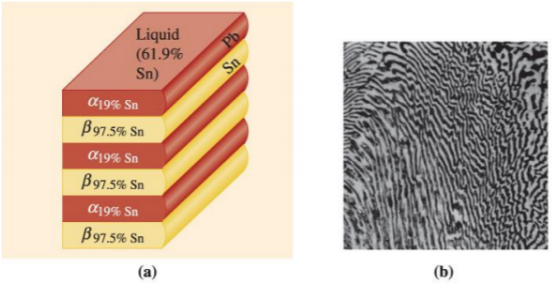
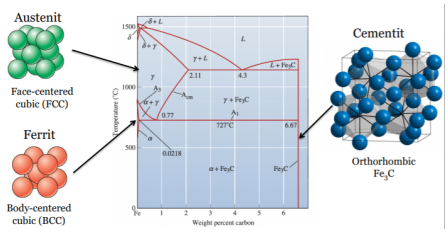


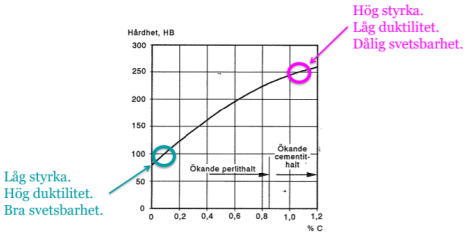
Figure 11-11 (a) Atom redistribution during lamellar growth of a lead-tin eutectic. Tin atoms from the liquid preferentially diffuse to the β plates, and lead atoms diffuse to the α plates. (b) Photomicrograph of the lead-tin eutectic microconstituent (× 400). (*Reprinted Courtesy of Don Askeland*)

Föreläsning 6 – stål och värmebehandling

Fasdiagrammet för järn och kol



Inverkan av kolhalt i stål



Stål

Fe-C legeringar med <1.4%C

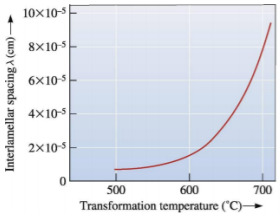
Faser:

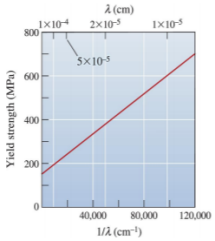
- Ferrit, α
  - BCC struktur
  - Löser liten mängd kol, C<0.02%
  - Stabil upp till 911°C
- Austenit, γ
  - FCC struktur
  - Löser upp till 2.11%C
  - Stabil över 727°C
- Cementit, Fe_3C
  - Järnkarbid
  - Ortorombisk struktur
  - Innehåller alltid 6.67%C

Strukturbeståndsdelar:

- Perlit, α+ Fe_3C
  - Lamellär struktur, svart Fe_3C, vit α
  - Bildas genom eutektoidisk omvandling γ -> α+ Fe_3C

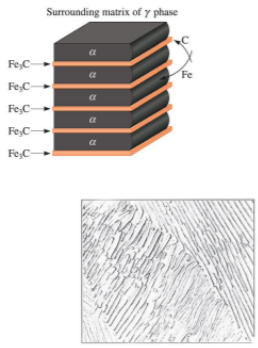
Perlitens utseende och egenskaper

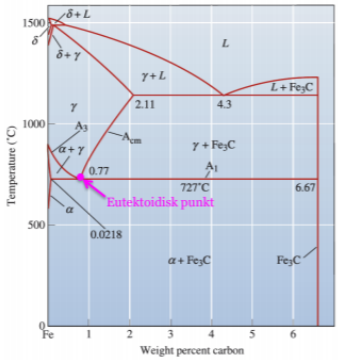




Fin perlit -> starkare!

Eutektoidisk omvandling γ -> α+ Fe_3C





Under/hypo- och över/hypereutektoidiska stål

Kom ihåg:

- Eutektisk: L -> $S_1 + S_2$
- Eutektoidisk: $S_1 \rightarrow S_2 + S_3$

Undereutektoidiskt stål	**Övereutektoidiskt stål**
• Allmänna konstruktionsstål • 0.1-0.6%C • Svetsbara • Duktila • Måttlig hållfasthet • Tex plåt, stång rör	• Verktygsstål • 0.8-1.4%C • Ej svetsbara • Mindre duktila • Hög hållf • Tex borrar, stans och andra verktyg

Hur kan man påverka stålets egenskaper?

- Kontrollera andelen perlit – styrs av sammansättningen, främst kolhalt
- Kontrollera austenit – kornstorleken, undvik korntillväxt i austenitområdet
- Kontrollera lamellavståndet i perliten – högre kylhastighet => större underkyln => mindre lamellavstånd => högre hållfasthet

Bainit och martensit

Icke jämviktsstrukturer i stål

- Stor underkylning ger Bainit
  - Struktur med ferrit och cementit
- Mycket stor underkylning ger martensit
  - Bildas vid snabbkylning från γ-området
  - Kolatomerna hinner inte diffundera och bilda Fe_3C
  - Kolatomerna blir ”tvångslösta” i α

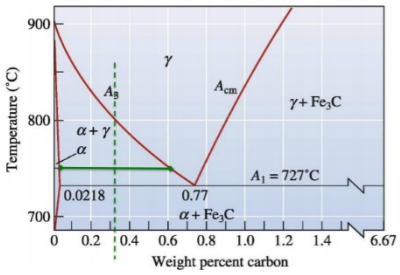
- Metastabil fas med BCT-struktur
- Hög styrka och låg duktilitet

Ex 12.9 i boken: Hur kan man skapa ett material med 50% ferrit och 50% martensit?

- Dual phase stål
- Martensiten ska ha 0.6%C

Svar:

- α? Undereutektoidiskt stål
- martensiten bildas från austeniten genom snabbkylning. Kolhalten i martensiten bestäms av kolhalten i den ursprungliga austeniten (de är samma)
- Hur hittar man γ med 0.6%C? Fasdiagram! A3-linjen, 750°C => 0.6%C
- Hur får vi 50% martensit? Hävstångsregeln! $\frac{x-0.02}{0.6-0.02} = 50\%$ => x=0.31%
- Svar: 1. Välj ett stål med 0.31%C. 2. Värm till 750°C. 3. Snabbkyl



TTT-diagram

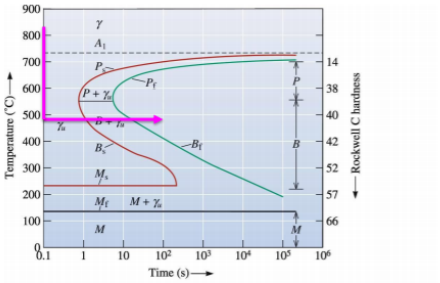


Figure 12-20 The time-temperature-transformation (TTT) diagram for a eutectoid steel, where P = Pearlite, B = Bainite, and M = Martensite. The subscripts "s" and "f" indicate the start and finish of a transformation. γ_u is unstable austenite.

Beskriver isoter omvandling.

CCT-diagram

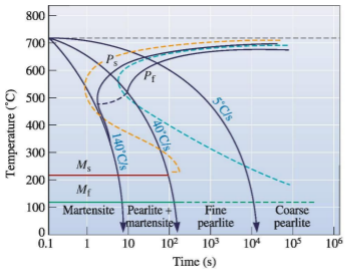


Figure 13-14 The CCT diagram (solid lines) for a 1080 steel compared with the TTT diagram (dashed lines).

Konstant avsvalningshastigh

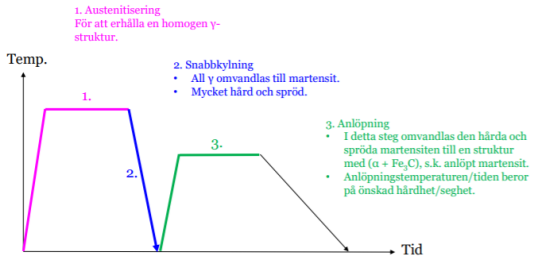
Kallbearbetning

Deformationshärdning,Tex valsning – man för in dislokationer i materialet vilket ger en ökad dislokationstäthet vilket leder till en försvårad dislokationsrörlighet och ett starkare material med sämre duktilitet

Värmebehandlingar av stål

- Anlöpning – för att eliminera kallbearbetning
- Anlöpning och normalisering/homogenisering av legeringsämnen – för partikelhärdning
- mjukglödning (sferoidisering) – Värmebehandling för att göra hårda stål mjukare och mera sträckbara
- isoterm glödgning – för att producera bainit

Härdning + anlöpning(seghärdning)



Endast 1 och 2 - martensithärdning

Anlöpningstemperaturens påverkan på egenskaper

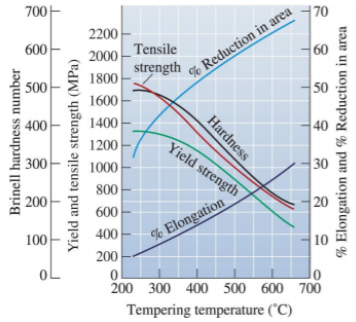


Figure 13-9 The effect of tempering temperature on the mechanical properties of a 1050 steel.

Härdsprickor

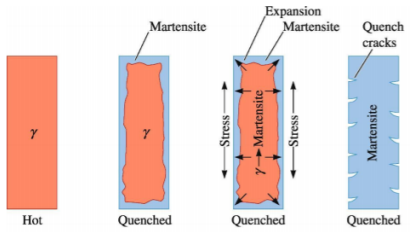


Figure 13-12 Formation of quench cracks caused by residual stresses produced during quenching. The figure illustrates the development of stresses as the austenite transforms to martensite during cooling.

Dessa undviks genom:

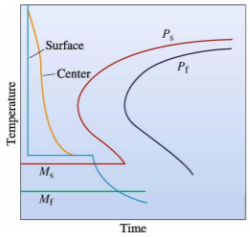


Figure 13-13 The marquenching heat treatment, designed to reduce residual stresses and quench cracking.

Varför legerar man ett stål?

- Lösningshärdning
- Partikelhärdning
- Förbättrat korrosionsmotstånd
- Öka hållbarheten

Härdbarhet vs hårdhet

Härdbarhet

- Förmåga hos ett stål att bilda martensit vid en viss kylningshastighet
- Påverkas av legeringstillsatser som Mn, Ni, Cr mm

Hårdhet

- Materialets motstånd mot inträngning av et hårt föremål i materialet
- Kolhalten hos martensit är avgörande för martensitens hårdhet

$$Härdbarhet \neq Hårdhet$$

Legeringsämnen i stål

Legeringsämne	Funktion
C	• Högre hårdhet.
Ni	• Högre seghet. • Austenit-stabiliserande
Cr	• Bättre korrosionsmotstånd. • Ökad härdbarhet.
Mo	• Förbättrar egenskaper genom lösningshärdning.
Co	• Förbättrar egenskaper genom utskiljningshärdning.
Ti	• Förbättrar egenskaper genom utskiljningshärdning.
Al	• Korngränshärdar genom att behålla små ferrit-korn.

Fö 7 – rostfritt stål, gjutjärn, icke järnlegeringar & utskiljn.härdn.

Rostfritt stål

- Stål med minst 11% Cr
- Cr-oxidiskikt på ytan (20-30 Å) som skyddar mot korrosion
- Inverkan av legeringselement
  - Cr stabiliserar ferrit
  - Ni stabiliserar austenit

Fem huvudtyper av rostfritt stål

- **Ferritiska**
  - <0.12%C, >17%Cr
  - Icke härdbara
  - God hållfasthet, måttlig duktilitet
  - Bra korrosionsmotstånd
  - BCC-struktur, magnetiska
  - Relativt billiga
  - Tex diskbänk
- **Martensitiska**
  - Ferrit
  - >0.12%C, 11-17%Cr
  - Högre kolhalt => går att värma till γ för att sedan snabbkyla och anlöpa
  - Magnetiskt, tex knivar, saxar och andra egg-verktyg
  - BCT
- **Austenitiska**
  - <0.12%C, 17-19%Cr, 8-12%Ni (dyrt pga nickeln)
  - Ni utvidgar γ-området till rumstemperatur (T_{rum})
  - FCC-struktur, ej magnetisk
  - Utmärkt duktilitet och formbarhet
  - Hållfastheten kan ökas genom lösningshärdning och kallbearbetning
  - Tex diskbänkar
  - FCC
- **Utskiljningshärdade rostfria stål**
  - Legeras med Al, Nb, Ta
  - Mycket hög hållfasthet
  - Specialstål tex inom flygindustrin
- **Duplexa stål**
  - Består av lika stora delar α och γ
  - Bra kombination av korrosionsmotstånd och hållf
  - Bra kombination av konstruktionsmaterial i tuffa miljöer tex kemisk industri och till havs i saltvatten

Gjutjärn

- Fe-legeringar med 2-4%C och 0.5-3%Si
- Genomgår en eutektisk omvandling vid ca 1150°C
  - L -> γ + cementit
  - L -> γ + grafit
- Cementit är egentligen en metastabil fas och den verkliga jämviktsfasen är grafit

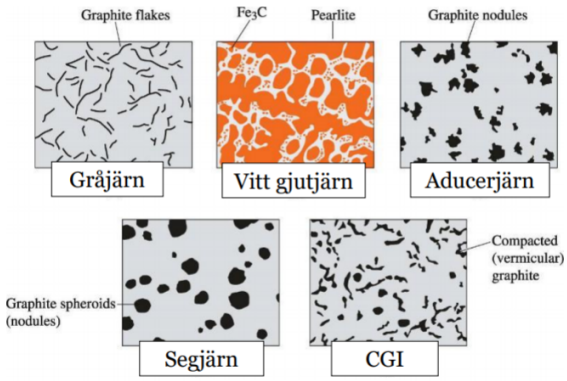
- Rent praktiskt är det dock svårt att få grafit i rena Fe-C-system
- Kisel (Si) stabiliserar grafit

Egenskaper hos gjutjärn:

- God gjutbarhet
- Stor sprödhet
- Formas genom gjutning och bearbetning
- Ofta billiga

Fem huvudtyper av gjutjärn

- **Vitt gjutjärn**
  - Mycket spröd pga hög andel Fe_3C
  - Endast använd när hög nötningsbeständighet krävs
- **Gråjärn**
  - Legeras ofta med Si
  - Grafiten urskiljs som fjäll
  - Bra dämpningsförmåga
  - Tex brunnslock, motorblock, bromsskivor
- **Segjärn**
  - Små tillsatser av Mg -> grafiten urskiljs som kulor
  - Bra kombination av seghet och styrka
  - Tex rör, vevaxlar, hjulnav
- **Aducerjärn**
  - Grafiten mer regelbunden (popcorn)
  - Bra kombination av duktilitet och styrka
  - Tex kugghjul
- **CGI (Kompakt-grafitjärn)**
  - Mellanting mellan gråjärnets fjällgrafit och segjärnets noduler(oregelbundet rund)
  - Tex cylinderhuvuden, bromsskivor



Aluminium

- FCC-struktur
- God formbarhet
- Låg densitet
- Lätt att återvinna
- Hög specifik hållfasthet och styvhet
- Hög el och värmeledningsförmåga
- Låg hårdhet
- God seghet vid låga temperaturer
- Korrosionsbeständigt
- Bra att härda
- Låg smältpunkt

Aluminiumlegeringar

TABLE 14-3 Designation system for aluminum alloys

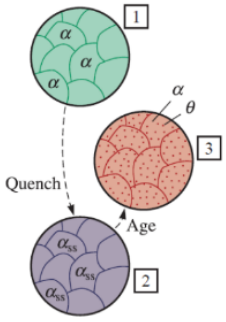
Wrought alloys:		
1xxx[a]	Commercially pure Al (>99% Al)	Not age hardenable
2xxx	Al-Cu and Al-Cu-Li	Age hardenable
3xxx	Al-Mn	Not age hardenable
4xxx	Al-Si and Al-Mg-Si	Age hardenable if magnesium is present
5xxx	Al-Mg	Not age hardenable
6xxx	Al-Mg-Si	Age hardenable
7xxx	Al-Mg-Zn	Age hardenable
8xxx	Al-Li, Sn, Zr, or B	Age hardenable
9xxx	Not currently used	
Casting alloys:		
1xx.x.[b]	Commercially pure Al	Not age hardenable
2xx.x.	Al-Cu	Age hardenable
3xx.x.	Al-Si-Cu or Al-Mg-Si	Some are age hardenable
4xx.x.	Al-Si	Not age hardenable
5xx.x.	Al-Mg	Not age hardenable
7xx.x.	Al-Mg-Zn	Age hardenable
8xx.x.	Al-Sn	Age hardenable
9xx.x.	Not currently used	

[a]The first digit shows the main alloying element, the second digit shows modification, and the last two digits shows the decimal % of the Al concentration (e.g., 1060: will be 99.6% Al alloy).
[b]Last digit indicates product form, 1 or 2 is ingot (depends upon purity) and 0 is for casting.

Lämpliga för plastisk bearbetning

Lämpliga för gjutning

Utskiljningshärdning



1. Upplösningsbehandling – ett tvåfasigt material i T_{rum} upphettas till ett enfasområde
2. Snabbkylning – materialet kyls snabbt till T_{rum} -> ett övermättat 1-fasigt material erhålls då diffusion ej hinner ske
3. Åldring – överskottsatomer (Cu) skiljs ut som partiklar (θ) i den tidigare övermättade fasen.

Resultatet blir många små, hårda och finfördelade partiklar (θ) i en mjuk matris (α)

Effekt av åldringstemperatur och tid

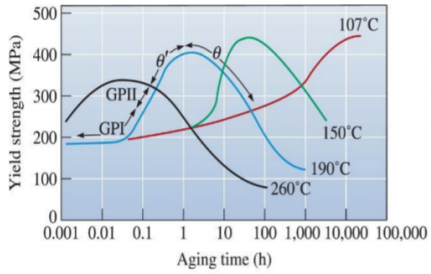


Figure 12-12 The effect of aging temperature and time on the yield strength of an Al-4% Cu alloy.

Magnesiumlegeringar

- HCP
- Oftast gjutna
- 55% används som legeringstillsats till Al
- Låg hållfasthet och duktilitet
- Låg densitet men svårt att kallforma
- Legera med Al, Mn och Zr så ökar hållfastheten

Titanlegeringar

- A(HCP) eller β(BCC)
- Goda hållfasthetsegenskaper
- Låg densitet
- Biokompabilitet – kan ha i kroppen
- Bra korrosionsmotstånd
- Svårt att maskinarbeta

Olika typer:

α-titan
- Ti - 5%Al – 2.5%Sn
- Hög hållfasthet.
- God svetsbarhet.
- Låg formbarhet.

α+β-titan
- Ti – 6% Al – 4V
- God hållfasthet och formbarhet.

β-titan
- Hög hållfasthet.
- Låg duktilitet i åldrat tillstånd.

Nickellegeringar

- Även kallade superlegeringar
- Mycket god hållfasthet vid höga temperaturer
- Lämpliga för kall och varmbearbetning
- Svåra att maskinbearbeta
- God korrosionsbeständighet
- Gasturbiner och flygmotorer

Minneslegeringar

- Metaller, som efter formändring genom plastisk deformation kan återta sin ”gamla” form mha uppvärmning
- Martensit vid lägre temperaturer, austenit vid högre
  - Legeringen formas vid rumstemperatur i martensitiskt tillstånd
  - Vid uppvärmning omvandlas martensiten till austenit och legeringen återtar sin ursprungliga form
  - Legeringssystem: Ti-Ni, Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni, Fe-Mn-Si mm

Föreläsning 8 – polymerer och kompositer

Polymerer

Poly=flera, meros=del

- Uppbyggda av långa molekylkedjor, typiskt 10 000 kolatomer
- Linjära och förgrenade kedjor
- Mellan kedjorna finns antingen svaga van der Waals-bindningar eller starka kovalenta bindningar

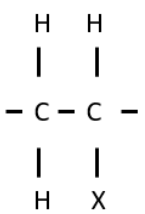
Tre huvudgrupper (rita bilder!):

1. **Termoplaster**
   - Amorf (huller om buller, kokt spagetti) eller delkristallina (delvis ordning, spagetti kokt utan omrörning)
   - Svaga vdw-bindningar mellan kedjorna
   - Kan smältas => lätt att forma
   - Tex polyeten, polyamid(nylon)
2. **Härdplast**
   - Täta, starka, kovalenta bindningar mellan kedjorna
   - Starkare och sprödare än termoplaster
   - Kan ej smältas, brinner upp direkt
   - Tex epoxi, polyester
3. **Elastomerer**
   - Tvärbindningar mellan kedjorna, men mycket glesare än hos härdplast. Kedjorna upplindade i spiraler oh kan därför dras ut elastiskt
   - Tex silikon, polyisopren

Plast= polymer+additiv (tex smörjmedel, färgmedel, fyllmedel) polymerkedjorna bildas genom att man ”kopplar ihop” många små molekyler(monomerer)

Polymerisation – monomerer utsatta för hög temperatur och högt tryck släpper en av dubbelbindningarna och bildar polymerer.

De fyra vanligaste termoplasterna

- 

- X=H => polyeten PE. Tex påsar, flaskor, plastfolie
- X=CH_3 => polypropen PP. Tex hinkar, matlådor
- X=Cl => polyvinylklorid PVC. Tex rör, mattor
- X=C_6H_5(rita!) => polystyren, PS. Tex engångsmugg, CD-fodral

T_m och T_g ökar

Ju större x är desto svårare för kedjor att veckla ut sig och rotera.

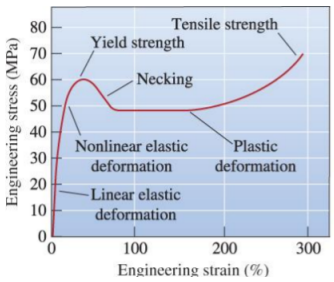
Exempel på formningsoperationer

- Formsprutning
- Extrudering
- Vakuumformning
- Formblåsning

Mekaniska egenskaper

- Beror på:
  - Sidogrupper
  - Kedjornas orientering
  - Bindningar mellan kedjorna
  - Kedjornas rörlighet (beror på de tre ovan)

Mekaniska egenskaper hos termoplaster

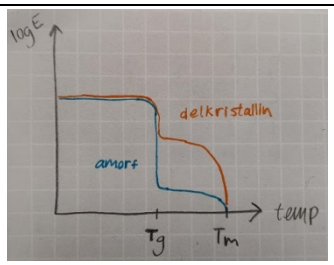


Inverkan av temperatur (hos termoplaster)

- Plastisk deformation hos polymerer, kedjorna vill veckla ut sig och rotera
- För låg temperatur => rotation ej möjligt
- Övergången kallas glasomvandlingstemperatur (T_g)
- Glasomvandlingstemperatur är den temperatur där materialet börjar mjukna om den överskrids. Alltså att storskaliga segmentrörelser kan ske i polymerkedjorna

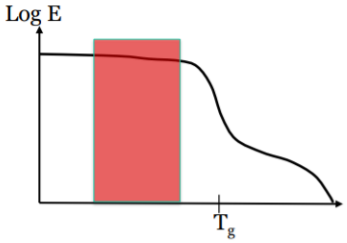
Under T_g	Över T_g
• Stela kedjor • Hög styrka och styvhet • Spröd och glasaktig	• Lättrörliga kedjor • Mjukt och duktilt

- Sidogruppernas storlek påverkar T_g
- Amorfa polymerer används endast under T_g
- Delkristallina kan användas både över och under T_g

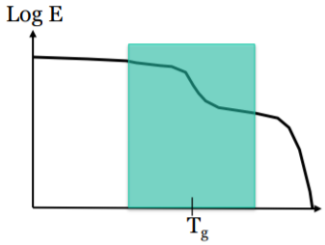


Amorfa termoplaster

- används under T_g
- stort processfönster för varmformning
- liten form och efterkrympning
- transparent
- låg kemikalieresistens



Delkristallina termoplaster



- används under eller över T_g
- bättre resistens mot kemikalier
- över T_g har man bra seghet och utmattningstillstånd
- opak
- stor formkrympning
- snävt processfönster för varmformning

Kompositmaterial

- en blandning av två eller flera material
- matris+förstärkning
  - matris: tex epoxi, polyester
  - förstärkning: tex kolfiber, kevlar, glasfiber
- bra kombination av styrka, styvhet och densitet

Experiment:

Ugn 100°C

- PET-flaska, T_g=70°C, T_m=240°C
- Ps-mugg, T_g=90°C, T_m=240°C

Resultat:

- Ps-muggen blir platt. Detta beror på at ursprungsformen är platt innan den extruderas(T>T_g) och snabbkyls till muggform
- PET-flaskan krymper och skrynklar ihop sig. Detta beror på att ursprungsformen är en cylinder som sedan formblåsts och snabbkylts och den börjar i ugnen återgå till ursprungsformen. Storleken på gängorna är samma då de inte vidgats i blåsningen. Toppen och botten blir vit, detta då de blivit kristallina, PET är delkristallin.

Föreläsning 9 – korrosion och miljöaspekter

Korrosion

Corrodere = fräta sönder/bryta ned

Kemiska angrepp

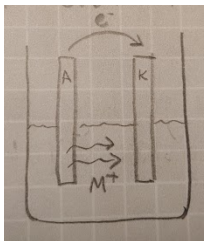
- Kan förekomma på alla material, även plaster
- Materialet löses upp i en korrosiv vätska

Elektrokemiska angrepp

- Förekommer på metaller pga de fria elektronerna
- I naturen förekommer metaller oftast i form av oxider, hydroxider eller karbonater. Metaller vill alltså återgå till naturligt stabila föreningar när de korroderar

Galvansk korrosion

Kompositionscell – galvansk cell. Elektrokemiskt angrepp som uppkommer mellan två metaller som står i kontakt med varandra i en elektrolyt.



Anod ger elektroner till katod och joner till elektrolyt.
Vid katoden är olika typer av reaktioner möjliga.
Anoden förlorar material, dvs korroderar.
Korrosionsprodukten bildas (i vissa fall) på katodens ytor.

Nödvändiga faktorer för galvansk korrosion:

1. Potentialskillnand
2. Elektrisk ledningsförmåga
3. Elektrolytisk ledningsförmåga

Vilket material blir anod respektive katod?

Table 23-1 The standard reduction potentials for selected elements and reactions

	Metal	Electrode Potential E^0 (Volts)
Anodic	$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	−3.05
	$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	−2.37
	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	−1.66
	$Ti^{2+} + 2e^- \rightarrow Ti$	−1.63
	$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn$	−1.63
	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	−0.76
	$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	−0.74
	$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	−0.44
	$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	−0.25
	$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	−0.14
	$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	−0.13
	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0.00 — (defined)
	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0.34
	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	+0.40
	$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0.80
	$Pt^{4+} + 4e^- \rightarrow Pt$	+1.20
	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.23
Cathodic	$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	+1.50

Elektrodpotential

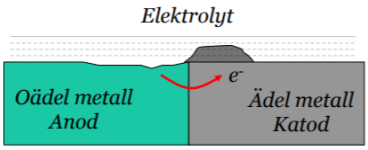
Anger materialets benägenhet att avge sina elektroner och bli anod i en elektrolyt.

Elektrodpotentialen hos ett material kan variera beroende på elektrolyten

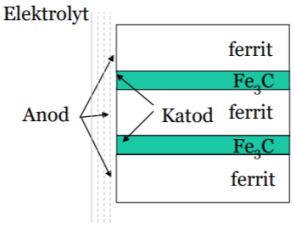
Förhållandet i elektrodpotential avgör vilket material som blir anod och vilket som blir katod då två material ska bilda en korrosionscell med en elektrolyt.

Makrogalvanska celler

- korrosion uppstår då metaller med olika potential sammankopplas
- Större katodytor ökar korrosionshastigheten



Mikrogalvanska celler



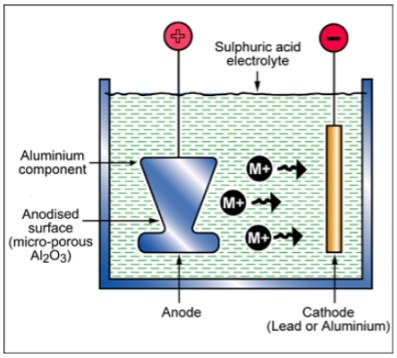
Allmän korrosion

- En typ av elektrokemisk korrosion
- Små statistiskt fördelade och rörliga områden uppträder som anod respektive katodytor
- Hela ytan korroderar
- Den vanligaste formen av korrosion
- Hela processen påskyndas av:
  - Hög temperatur

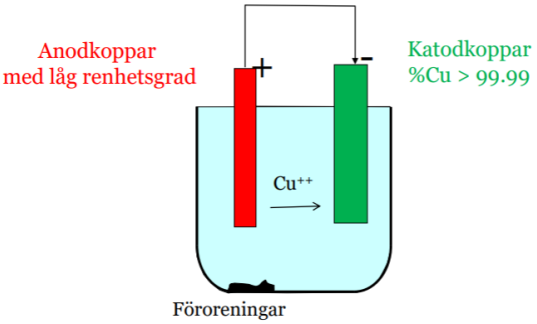
- Lågt Ph-värde
- Hög luftfuktighet

Korrosion inte alltid dåligt!

Anodisering av Al-produkter

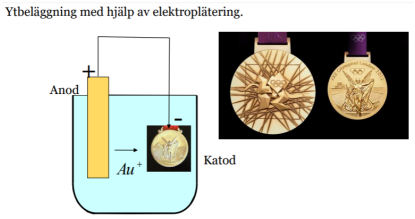


Elektrolytisk raffinering av metaller



Metallbeläggning

Ytbeläggning med hjälp av elektroplätering



Anodmaterial: Au, Ag, mässing, brons, Co, Ni-Co, Cu, ...

Elektroplätering – kolla upp!

Spänningscell

Uppstår i metaller som har områden med olika lokala spänningar.

Anod	Katod
• Hög spänning • Hög grad kalldef.	• Låg spänning • Lägre grad kalldef.

Vid en sprickspets kan spänningen vara väldigt hög och sprickan kan därför propagera mha spänningskorrosion.

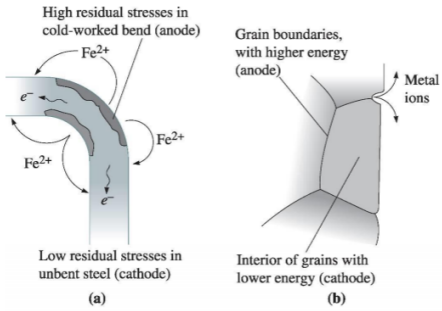


Figure 23-8 Examples of stress cells. (a) Cold work required to bend a steel bar introduces high residual stresses at the bend, which then is anodic and corrodes. (b) Because grain boundaries have high energy, they are anodic and corrode.

Selektiv korrosion

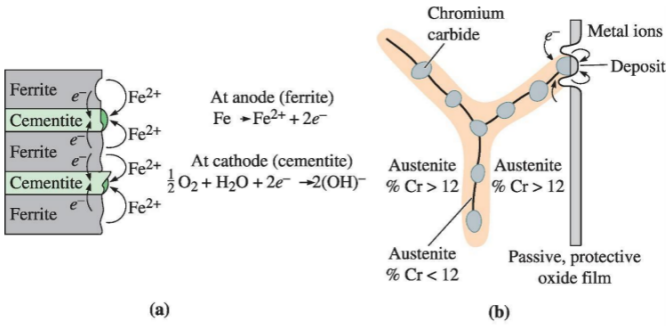
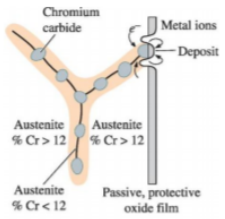


Figure 23-6 Example of microgalvanic cells in two-phase alloys: (a) In steel, ferrite is anodic to cementite. (b) In austenitic stainless steel, precipitation of chromium carbide makes the low Cr austenite in the grain boundaries anodic.

Sensibilisering



Koncentrationscell

Uppstår pga koncentrationsvariationer

- Låg syrehalt => anod
- Hög syrehalt => katod

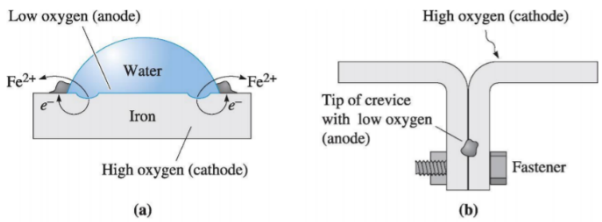


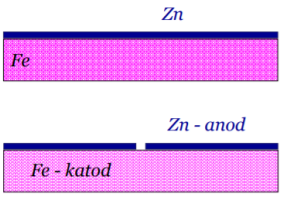
Figure 23-9 Concentration cells: (a) Corrosion occurs beneath a water droplet on a steel plate due to low oxygen concentration in the water. (b) Corrosion occurs at the tip of a crevice because of limited access to oxygen.

Korrosionsskydd

Konstruktionens utformning:

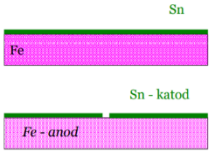
1. Undvik galvanisk korrosion genom att om möjligt använda samma material istället för olika
2. Gör om möjligt anoden mycket större än katoden, tex Cu-nitar på stålplåt
3. Utforma hellre ett slutet vattensystem än ett öppet
4. Undvik öppna spalter, svetsning kan vara ett bra verktyg för fogning.
5. Om korrosion ej kan undvikas skall konstruktionen utformas så den korroderade delen lätt kan bytas ut.

Beläggning med zink



- Zn korroderar mycket långsamt ty stor anod och liten katod
- Billig process
- Ger skydd under lång tid
- Okänslig för skador i Zn-skiktet. Detta då Zn är anodiskt i jämförelse med stål

Beläggning med tenn



- Fe korroderar snabbt
- Känslig för skador i ytskiktet
- Används i mer aggressiva miljöer

Katodiskt skydd

Genom att förse ett material med elektroner tvingas materialet att bli katodiskt och får ett skydd mot korrosion, tex:

- Offeranoder av ett oädlare material
- Extern elektrisk spänningskälla

Används tex för att skydda:

- Nedgrävda vatten- och avloppsrör
- Marina konstruktioner och båtar
- Varmvattenberedare

Anodiskt skydd

Ibland kan korrosionshastigheten avta till följd av att korrosionsprodukter bildas på ytan av anoden. Detta kallas passivering.

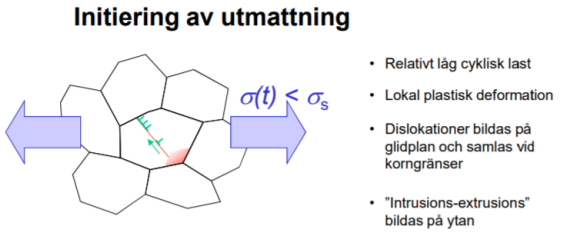
Tex. rostfritt stål med >12%Cr.

Passiveringen kan påskyndas med hjälp av förexponeringar.

Övrigt

Slagseghet - ett materials förmåga att motstå en hastigt pålagd belastning - Joule
Specifik styrka – styrka/densitet ex på material med hög specifik styrka är aluminium

Vid **utmattning** påverkas plasticiteten (deformerbarheten) och sträckgränsen. Ett materials förmåga att motstå utmattning kallas utmattningshållfasthet, egenskapen hos material att inte brista vid ett stort antal spänningsväxlingar.



Fast lösning – en blandning av två el fler material där det ena löser sig i det andra och bildar en fas.

Lösningshärdning: Främmande atomer (legeringsämnen) tar plats i kristallgittret och åstadkommer spänningar som hindrar dislokationsrörelser.

Utskiljningshärdning: Främmande atomer tillsätts och temperaturhöjning gör att de uppgår i ett enfasigt tillstånd. Materialet kyls därefter snabbt till en temperatur där legeringsämnet inte är lösligt och en övermättad lösning skapas. Detta förhindrar dislokationsrörelser i kristallgittret.

Deformationshärdning: Dislokationer i kristallgittret uppstår då stålet utsätts för mekanisk bearbetning. Dislokationerna i sig själva förhindrar nya dislokationsrörelser och materialet härdas